

ЛИТЕРАТУРА:

1. Отчёт о функционировании ЕЭС России в 2020 г. / Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы». – 2020.
2. Атомная энергетика. Передовые технические решения в области ядерной энергетики и безопасности // 2021. URL: <https://www.ippe.ru/nuclear-power/fast-neutron-reactors/120-brest-300-nuclear-reactor>
3. Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Смирнов В.С., Чернецов Н.Г. // Атомная энергия. – 2012. – Т. 113. – №1. – С.58-64.
4. Попов А.В., Федорович Е.Д., Кулаков Е.Н., Денисов И.Б. Влияние количества конденсатных насосов на надёжность работы питательных насосов в схеме энергоблока БРЕСТ-ОД-300 // Материаловедение. Энергетика. 2021. Т. 27, №1. С.31-40. DOI: 10.18721/JEST.27103
5. И.А. Ширманов, В.С. Костарев, Д.Н. Литвинов, С.Е. Щелкиен. О применении компрессии и неядерного перегрева пара на реакторах на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем для повышения термодинамической эффективности цикла турбоустановки // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. - Т. 64, №2-2
6. . Система сжигания водорода для пароводородного перегрева свежего пара в цикле атомной электрической станции // Патент РФ №2358191, МПК F22B 1/26, опубл. 10.06.2009 / Аминов Р.З., Байрамов А.Н.
7. Атомные электростанции: учебное пособие / А.М. Антонова, А.В. Воробьёв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 230 с.

Научный руководитель: К.Б. Ларионов, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

ПРОЕКТ АСММ НА БАЗЕ РУ РИТМ-200

А.Э. Букаринов
Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ им. И. Н. Бутакова, группа 5061

Введение

Основные запасы полезных ископаемых Российской Федерации залегают в труднодоступных районах крайнего севера, энергоснабжение которых является автономным. Зачастую на таких территориях используются устаревшие котельные, дизельные и мазутные энергоустановки, эксплуатация которых требует доставки топлива и запасных частей. Еще одной проблемой районов крайнего севера является обильное количество отходов в виде тар для доставляемого топлива.

Строительство атомных станций малой мощности (АСММ) позволяет решить вопрос о постоянной необходимости доставки горючего топлива и связанных с этим трудностей.

Российская федерация обладает достаточно большим опытом использования ядерной энергии для энерго и теплоснабжения удаленных районах севера, ярким примером является Билибинская АЭС, а также недавно построенный плавающий энергоблок (ПЭБ) «Академик Ломоносов».

В настоящий момент планируется использование наземной АСММ на базе реакторной установки (РУ) РИТМ-200 для энергоснабжения золоторудного месторождения Кючус в Республике Саха (Якутия). Место расположения АСММ – п. Усть-Куйга. Электрическая мощность энергоблока 55 МВт. [1] Согласно [2], прогнозируемый объем потребления тепловой энергии в посёлке на 2035 год составляет 7,8 МВт.

Разработка тепловой схемы

Давление и температура свежего пара, а также температура питательной воды (ПВ) заданы характеристиками РУ РИТМ-200.

В качестве прототипа при разработке тепловой схемы энергоблока использовалась турбоустановка (ТУ) ТК-35/38-3,4, в настоящий момент установленная на ПЭБ «Академик Ломоносов».

Данная ТУ имеет регулируемый отбор пара, две ступени подогревателей высокого давления (ПВД), деаэратор атмосферного типа и одну ступень подогревателей низкого давления (ПНД). ТУ ТК-35/38-3,4 имеет часть высокого давления (ЧВД) и часть низкого давления (ЧНД), которые разделены регулирующей диафрагмой. При этом сами цилиндры располагаются в одном корпусе. Использование регулируемого отбора связано с большой, относительно электрической мощности (35 МВт), тепловой нагрузкой – 29 МВт.

Небольшая, относительно электрической мощности, тепловая нагрузка проектируемого энергоблока не требует наличия регулируемого отбора пара. Ориентируясь на прототип энергоблока, была рассчитана тепловая схема одноцилиндровой ТУ без использования выносного сепаратора и регулируемого отбора пара. После определения параметров пара в узловых точках тепловой схемы, влажность пара на выходе ТУ составила 16,58%. Согласно рекомендациям, данное значение не должно превышать 14%. Высокое значение влажности на выходе ТУ потребовало установки выносного сепаратора, что приводит к разделению ТУ на два цилиндра.

Далее была спроектирована тепловая схема с двумя цилиндрами и выносным сепаратором. В процессе работы был выбран деаэратор атмосферного типа. Значение температуры питательной воды, температуры насыщения в деаэраторе, а также допустимый диапазон значений подогрева ПВ в ступени ПВД, определяет количество ступеней ПВД в проектируемом энергоблоке – 2 шт. Давление в конденсаторе было выбрано по прототипу и составляет 7 кПа. С учетом нагрева воды в деаэраторе, а также подогрева в охладителях эжекторов и уплотнений, количество ступеней подогрева ПНД составило 2 шт. Влажность на выходе ЧНД составила 10,61%.

Согласно [2] температуры прямой и обратной сети в существующей тепловой сети п. Усть-Куйга составляют 95/70 °С. Достаточно невысокий нагрев сетевой воды приводит к необходимости установки одной ступени подогрева сетевой воды.

В результате была разработана следующая тепловая схема энергоблока:

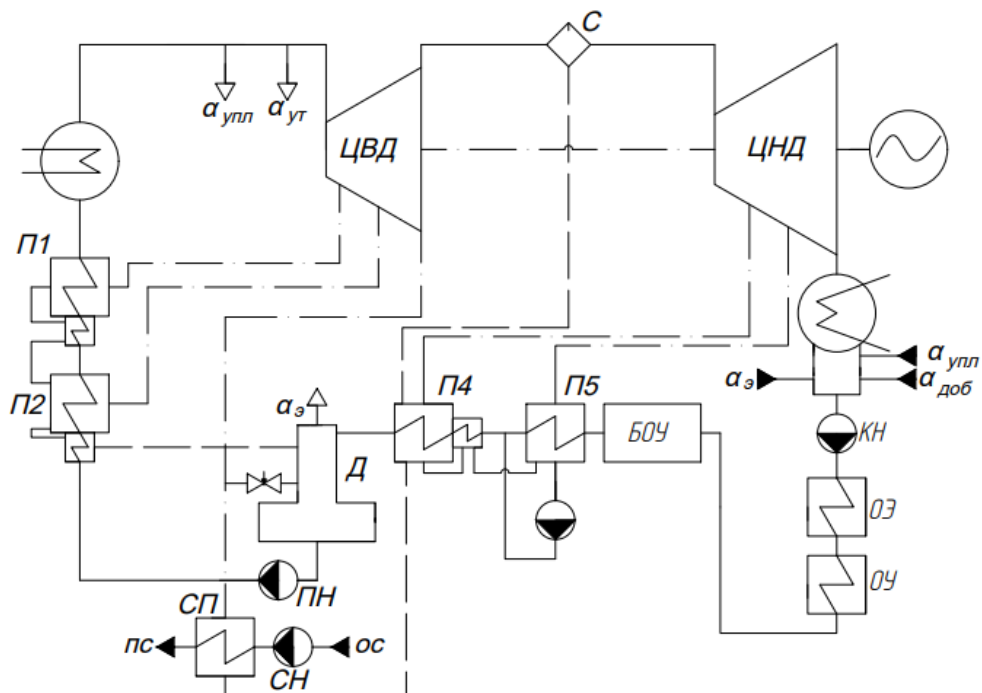


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема проектируемого энергоблока

Система технического водоснабжения

Использование АСММ в районах крайнего севера вызвано повышенной, относительно тепловых станций на органическом топливе, автономностью. Система технического водоснабжения накладывает ограничения на выбор площадки строительства энергоблока ввиду необходимости наличия водных ресурсов. При проектировании современных энергоблоков необходимо использовать оборотные системы технического водоснабжения. Использование оросительных градирен в данной местности не представляется возможным ввиду низкий температур наружного воздуха в зимний период. Для повышения автономности энергоблока, а также возможности использования в районах крайнего севера без источника водоснабжения, приводит к выбору оборотной системы технического водоснабжения с сухими градирями. Сухие градири также называют аппаратами воздушного охлаждения (АВО).

Согласно [4], АВО были рассчитаны по методике ВНИИ Нефтемаш [5]. В результате расчета были выбраны зигзагообразные АВО. Расчет аппаратов велся на среднюю максимальную температуру теплого месяца в п. Усть-Куйга, которая составляет + 18 °С. [6] При такой температуре, для достижения давления в конденсаторе 7 кПа, необходима установка 94 аппаратов. Каждый аппарат комплектуется вентилятором ВГ50, подача которого составляет $V = 138,9 \frac{\text{м}^3}{\text{м}}$. Потребление электроэнергии электродвигателем одного аппарата – 36,1 кВт. Суммарное потребление электроэнергии аппаратов – 3397,6 кВт.

Температура наружного воздуха проектирования теплофикационной установки энергоблока составляет -50°C . При такой температуре необходимо снижение подачи вентиляторов до $25 \frac{\text{м}^3}{\text{м}}$, что приведет к снижению потребления электроэнергии до 19,8 кВт.

Проектные режимы работы энергоблока

Тепловая схема энергоблока была рассчитана на три режима: конденсационный, теплофикационный при расчетной температуре наружного воздуха; теплофикационный при средней температуре наружного воздуха отопительного периода.

В конденсационном режиме работы расход пара в голову турбины составил 84,9 кг/с. Расчет блока при теплофикационных режимах рассчитывался на такой же расход свежего пара.

В результате расчета, абсолютный электрический КПД ТУ составил 28,8%.

В теплофикационном режиме работы энергоблока при расчетной температуре наружного воздуха, расход пара в сетевой подогреватель составил 3,9 кг/с. КПД энергоблока по выработке электроэнергии составил 32,4%, по выработке тепловой энергии – 93,4%. Необходимо отметить, что в данном режиме работы происходит снижение давления в конденсаторе до 2,9 кПа. Снижение давления происходит вследствие возможности обеспечения более низкой температуры технической воды системами АВО.

В теплофикационном режиме работы энергоблока при средней температуре наружного воздуха отопительного периода, расход пара в сетевой подогреватель составил 2,2 кг/с. КПД энергоблока по выработке электроэнергии составил 31,9%, по выработке тепловой энергии – 93,4%.

Также необходимо отметить, что в регулирование температуры прямой сети осуществляется методом байпасирования.

Заключение

В ходе выполнения работы была спроектирована АСММ на базе РУ РИТМ-200. Начальное давление $p_0 = 3,43$ МПа; начальная температура $t_0 = 285$ °С. Данный проект позволяет использовать имеющуюся РУ без изменения ее характеристик. Электрическая и тепловая мощности энергоблока – 55 и 7,8 МВт соответственно. ТУ имеет 5 нерегулируемых отборов пара, отбор греющего пара на сетевой подогреватель совмещен с отбором пара на деаэрактор. Для спроектированной тепловой схемы было подобраны подогреватели и насосное оборудование. Также были спроектированы аппараты воздушного охлаждения оборотной системы технического водоснабжения, потребление электрической энергии которых в расчетном режиме составляет порядка 3,4 МВт (6,2 % от номинальной мощности). Использование АВО в качестве системы охлаждения технической воды позволяет выбрать площадку строительства АСММ без привязки к водным ресурсам региона. Расход свежего пара в голову турбины в номинальном режиме работы составляет 84,9 кг/с, расход сетевой воды – 74,3 кг/с.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.08.2021 №2264-р.
2. Схема теплоснабжения МО «Поселок Усть-Куйга». Пояснительная записка. Общество с ограниченной ответственностью «ГарантЭнерго-Проект».

3. Антонова А.М., Воробьев А.В. Атомные электростанции: учебное пособие / А.М. Антонова, А.В. Воробьев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 230 с.
4. СНиП 2.04.02-84. Пособие по проектированию градирен.
5. Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения. ВНИИНЕФТЕМАШ, 1982.
6. СП 131.13330.2018. Строительная климатология, свод правил.

Научный руководитель: А. В. Воробьев, к.т.н., доцент НИЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРИЛИВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.Г. Горячев¹, А.А. Полева¹, Е.В. Кузьмина²
Томский политехнический университет^{1,2}
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова,^{1,2} группа 5Б94¹ группа 5Б95²

Рассмотрены достоинства и недостатки, работа существующих проектов, а также перспективы развития ПЭС

На данный момент быстрыми скачками разрабатываются программы развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), способные в будущем составить конкуренцию традиционной энергетике. Большой интерес исследования использования энергии Мирового океана, путем создания волновых и приливных (ПЭС) электростанций, вызван в странах, расположенных на морских побережьях и обладающих необходимыми природными ресурсами [1].

Стоит отметить, что в Римской империи существовали первые мельницы, работающие на энергии приливов и отливов. В 1913 году была построена первая приливная электростанция (ПЭС), она находилась неподалеку от Ливерпуля в бухте Ди (Великобритания), мощность которой составляла всего 0,635 МВт. На сегодняшний день в мире энергопотенциал приливной энергии, который является технически осуществимым к использованию, составляет более, чем 3500 млрд кВт-ч в год, что сопоставимо с речными энергоресурсами 4000 млрд кВт-ч [1].

ПЭС — один из видов гидроэлектростанций, при котором для получения электроэнергии используют энергию воды.

Наивысшие приливы на территории России наблюдается в Пенжинской губе Охотского моря (13,4 м), а также в Белом море (до 10 м). В 1968 году на Берегу Баренцева моря была построена первая и единственная приливная электростанция, которая получила название — Кислогубская ПЭС. На сегодняшний день крупнейшая в мире ПЭС находится в Южной Корее, она начала работать в августе 2011 года и обладает установленной мощностью 254 МВт. Такие электростанции есть Китае, Франции и Канаде [2].